

PRZYRZĄD DO MODELOWANIA TEORII KINETYCZNO-MOLEKULARNEJ

1. Wstęp

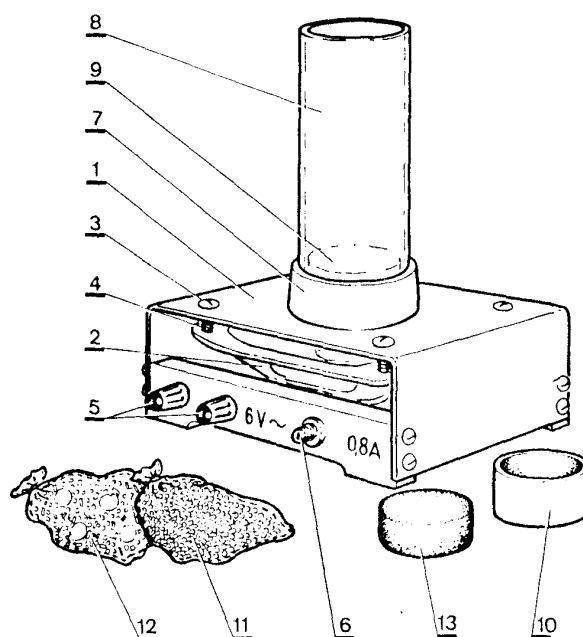
Przyrząd służy do fizycznego modelowania struktury mikroskopowej gazu. Jest szczególnie przydatny w początkowym okresie nauczania fizyki w szkole podstawowej. Zgodnie z nowymi tendencjami, już w klasie szóstej uczniowie powinni zapoznać się z molekularno-kinetycznym obrazem budowy substancji. Daje to podstawę do jednolitej i pogłębionej interpretacji wielu zjawisk. Ponieważ jednak element strukturalny substancji – molekula (zwana również drobiną lub cząsteczką) jest zbyt mały, aby mógł być przedmiotem bezpośredniej obserwacji uczniowskiej, istnieje pilna konieczność modelowania zjawisk molekularnych.

Za pomocą przyrządu realizuje się poglądowy, materialny, trójwymiarowy model gazu, obrazujący molekuly i ruch temperaturowy molekuł. Przy określonych oddziaływaniach zewnętrznych, model gazu zachowuje się podobnie jak porcja gazu rzeczywistego. Śledząc doświadczenia wykonywane za pomocą przyrządu, uczniowie zapoznają się z modelowaniem – wybiegiem powszechnie stosowanym w naukach przyrodniczych – w celu ujawnienia ukrytych mechanizmów obserwowanych zjawisk

2. Części składowe przyrządu

Przyrząd mieści się w pudełku tekturowym o wymiarach 32x15x11 *cm* i łącznie z pudełkiem posiada masę 1,4 *kg*. W pudełku znajdują się:

1. Podstawa przyrządu zawierająca głośnik i wibrator
2. Cylinder szklany – 2 szt.
3. Tłok do cylindra
4. Pojemnik z kulkami – 2 szt.
5. Korek do cylindra
6. Niniejsza instrukcja



Rys. 1

Wygląd zewnętrzny przyrządu przedstawia rys. 1. Głównym elementem przyrządu jest podstawa (1) zawierająca głośnik radiowy (2) typu GD 12/8 o rezystancji 4Ω i mocy znamionowej $8 W$. Głośnik jest przymocowany do podstawy za pomocą czterech śrub regulacyjnych (3) i sprężyn (4). Na podstawie znajdują się dwa elektryczne zaciski laboratoryjne (5) oraz gniazdo bezpiecznikowe (6) z umieszczoną w nim rurkową wkładką topikową o nominalnym natężeniu prądu $0,8 A$. Do krawędzi otworu w górnej powierzchni podstawy jest przymocowany (przez wciśnięcie) pierścień z tworzywa sztucznego (7) przeznaczony do mocowania cylindra szklanego (8) o wymiarach: długość – $150 mm$, średnica zewnętrzna – $50 mm$, grubość ścianki – $3,5 mm$. Przez otwór w pierścieniu przechodzi wibrator (9), wykonany z polistyrenu i przyklejony do membrany głośnika.

W skład kompletu wchodzi ponadto: zapasowy cylinder szklany, lekki – luźno pasowany do cylindra – tłok (10) o średnicy $42 mm$ i wysokości $22 mm$, pojemnik (12) z kulkami stalowymi o średnicy $5 mm$ (100 sztuk) i kolorowymi kulkami polistyrenowymi o średnicy $12 mm$ (3 sztuki), pojemnik (11) z granulatem polistyrenu (ok. $0,05 kg$) oraz korek z pianki poliuretanowej (13) przeznaczony do zamykania wylotu cylindra.

3. Uruchomienie przyrządu

W celu zmontowania przyrządu z elementów znajdujących się w pudełku, należy wyjąć i postawić na stole podstawę przyrządu, a następnie jeden z cylindrów szklanych ostrożnie wcisnąć do miękkiego pierścienia wystającego ponad górną powierzchnię podstawy, zgodnie z rys. 1. Po osadzeniu cylindra w pierścieniu podstawy trzeba sprawdzić, czy wibrator jest współosiowy z cylindrem i (w razie potrzeby) skorygować jego położenie za pomocą śrub mocujących głośnik do podstawy.

Dla uruchomienia tak zmontowanego urządzenia potrzebne są dodatkowo:

- a) źródło prądu przemiennego o częstotliwości $50 Hz$ i napięciu regulowanym w zakresie od $0 V$ do $6 V$, np. szkolny transformator;
- b) dwa elektryczne przewody laboratoryjne z wtykami bananowymi.

W celu uruchomienia przyrządu łączy się jego zaciski z wyjściem transformatora, zwracając uwagę aby wartość skuteczna napięcia przemiennego na zaciskach nie przekroczyła granicznej wartości $6 V$. Sprawny przyrząd postawiony na miękkim podłożu wydaje bardzo słaby dźwięk (buczenie) przy napięciu $3 V$ i nieco głośniejszy przy napięciu $6 V$. Jeżeli nastąpi silny warkot, można próbować go usunąć (przy zmniejszonym napięciu) albo przez dalszą regulację położenia wibratora albo przez uderzenie dłonią w cylinder, z góry do dołu.

Ostateczna próba przyrządu polega na wsypaniu kulek stalowych do cylindra i sprawdzeniu wysokości unoszenia tłoka, uderzonego kulkami wprawionymi w ruch drgającym wibratorem. Do cylindra wysypuje się 30 kulek i warstwę kulek leżących na wibratorze przykrywa się tłokiem, zwróconym wklęsłą stroną ku górze. Przy napięciu $6 V$ tłok unosi się na wysokość około $8 cm$.

4. Konserwacja przyrządu

Przyrząd nie wymaga specjalnych zabiegów konserwacyjnych, jednak dla zachowania jego sprawności należy przestrzegać następujących zasad:

- Przyrząd powinien być przechowywany w miejscu suchym, najlepiej w oryginalnym pudełku tekturowym. W szczególności nie wolno dopuścić do zamoczenia membrany głośnika. Zabrudzony cylinder szklany można czyścić płynem do mycia szyb, ale dopiero po jego odłączeniu od podstawy przyrządu.
- Trzeba zachować ostrożność, aby nie uszkodzić membrany głośnika przez zbyt silny nacisk na wibrator, wystający z pierścienia w górnej powierzchni podstawy przyrządu

5. Doświadczenia z przyrządem

W przyrządzie do modelowania praw gazowych modelem fizycznym rzeczywistych molekuł są kulki stalowe. Umieszczając te kulki w szklanym cylindrze przyrządu, zamkniętym od dołu drgającym wibratorem, a od góry ruchomym luźno pasowanym do cylindra tłokiem, uzyskuje się fizyczny model porcji gazu rzeczywistego, zamkniętej np. pod tłokiem strzykawki lekarskiej.

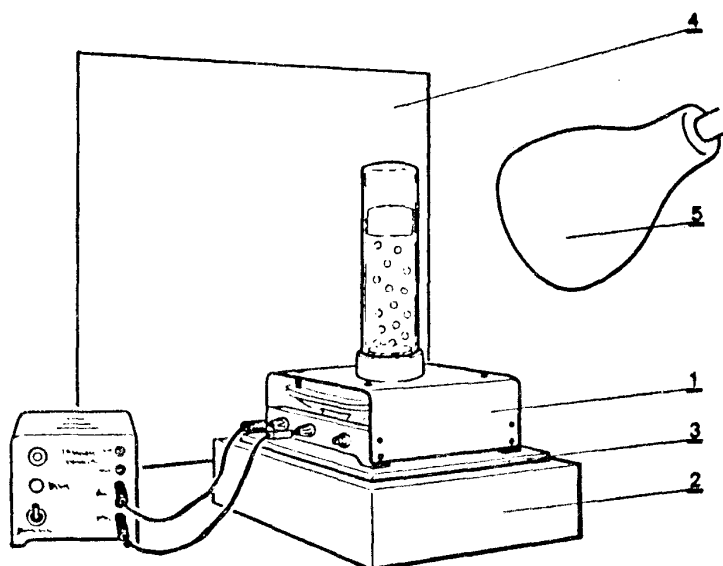
Zmianę temperatury gazu można modelować za pomocą przyrządu przez zmianę napięcia zasilającego, co powoduje zmianę amplitudy drgań wibratora, a więc i prędkości kulek.

Przy małym napięciu zasilającym kulki leżące na wibratorze nie odrywają się od siebie, lecz tylko wykonują nieznaczne przemieszczenia i obroty. Warstwa słabo pobudzonych kulek modeluje porcję cieczy.

Poniżej zostaną opisane łącznie doświadczenia z obiektem rzeczywistym (gazem lub cieczą) i odpowiadające im doświadczenia z modelem tego obiektu.

Uczniowie widząc, że oddziaływanie na gaz powoduje pewien skutek i podobne oddziaływanie na model gazu powoduje podobny skutek przekonują się o poprawności modelu. Rozmiary przyrządu umożliwiają bezpośrednie demonstrowanie opisanych doświadczeń grupie złożonej z kilkunastu uczniów. Jednak dla poprawienia widoczności doświadczeń z modelem gazu, demonstrowanych większej grupie obserwatorów, dobrze jest zastosować dodatkowe oświetlenie i jasny ekran, stanowiący tło przyrządu.

Przykładowe ustawienie przyrządu do demonstracji pokazuje rys. 2. Przyrząd (1) znajduje się na prostopadłościennym podstawie (2) o wysokości około 5 cm, nakrytej cienkim dywanikiem (3) z pianki poliuretanowej, zapobiegającym przesuwaniu się przyrządu i zmniejszającym jego hałaśliwość. Ekran (4), np. arkusz brystolu o jasnej pastelowej barwie, jest oświetlony ukośnie – pod kątem około 45° – lampą stołową (5). Dla uwydatnienia kształtu i barwy kulek w cylindrze, część strumienia światła lampy kieruje się na przyrząd, pilnując jednocześnie, aby odbłaski od cylindra nie przeszkadzały w obserwacji jego zawartości



Rys. 2

Kolejność wykonywania doświadczeń z „przyrządem do modelowania praw gazowych” zależy od przyjętej metodyki nauczania o molekularno-kinetycznej budowie substancji. O wyborze metodyki decyduje nauczyciel fizyki, kierując się programem nauczania, podręcznikiem i lokalnymi warunkami szkoły: wyposażeniem szkoły, możliwością wykonywania doświadczeń, przygotowaniem zespołu uczniowskiego.

Efektywność wykorzystania przyrządu uzależniona jest w znacznej mierze od okoliczności w jakich nastąpi pierwsze zetknięcie uczniów z przyrządem. Akceptacji

przyrządu sprzyjać będzie przekonanie się uczniów o jego wartości, polegającej na tym, że realizowany za pomocą przyrządu model gazu pomaga w zrozumieniu zjawisk już znanych i pozwala przewidywać nowe zjawiska, których istnienie potwierdzają dalsze eksperymenty z gazem rzeczywistym.

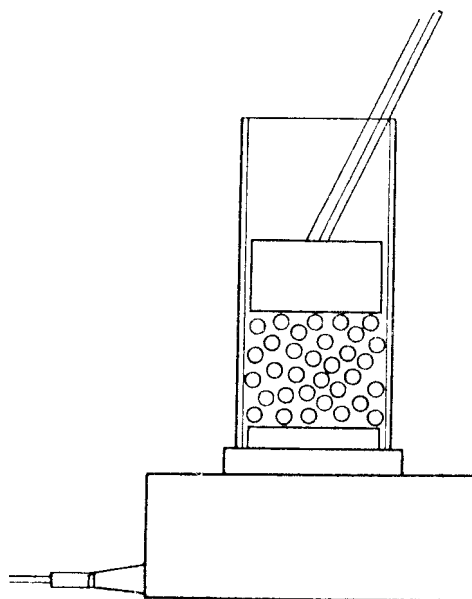
5.1 Wprowadzenie modelu gazu. Hipoteza o ruchu temperaturowym molekuł.

Właściwości substancji zależą zarówno od właściwości jej elementów strukturalnych – molekuł, jak również od wzajemnego ich ułożenia i powiązania, tj. od struktury substancji.

Doświadczenie 1. Doświadczenie z gazem przebiega następująco. Pokazuje się strzykawkę, przesuwając tłok i zatrzymuje go w różnych położeniach. Następnie wyjmując tłok, zatyka końcówkę strzykawki (za pomocą kulki plasteliny), wprowadza tłok do cylindra i wylot strzykawki zamyka metalową pokrywką.

Tak przygotowaną strzykawkę ustawia się pionowo na podstawie statywu, wciska tłok palcem i zwalnia nacisk. Można też ostrożnie ustawić na tłoku strzykawki odważnik (podtrzymać dłońmi), a po chwili usunąć obciążenie tłoka i odważnik ustawić obok strzykawki stojącej na podstawie. Teraz uruchamia się przyrząd do modelowania i obserwuje tłok przyrządu. Następnie tłok obciąża się, opierając na nim (i na krawędzi cylindra) ołówek lub długopis (rys. 3).

W przyrządzie do modelowania tłok unoszony jest do góry. Powodem nacisku na tłok są uderzenia „molekuł”. Ponieważ uderzenia są nieregularne, tłok ciągle na przemian opada i podnosi się nieznacznie. Średnio w czasie, siła nacisku „gazu modelującego” jest równa ciężarowi tłoka. Jeżeli zmniejszy się objętość zajmowana przez „gaz”, to jego nacisk na tłok – i pozostałe ściany zbiornika – staje się większy (bardziej gęsty – więcej uderzeń).



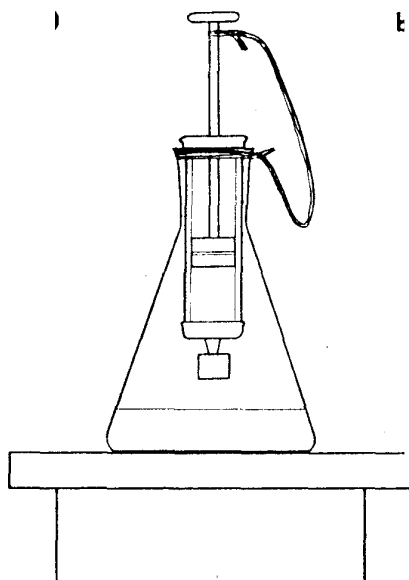
Rys. 3

Strzykawkę z zamkniętą w niej porcją alkoholu wkłada się ostrożnie do kolby, w której wrze woda. Po chwili tłok strzykawki zaczyna wysuwać się z cylindra. Gdy zbliży się do podziałki 10 cm^3 , należy chwycić za nitkę, wyjąć strzykawkę z kolby i pokazać uczniom, że tłok minął podziałkę 10 cm^3 a na dnie pozostało jeszcze trochę ciekłego alkoholu. W tym czasie strzykawka stygnie i tłok wsuwa się do cylindra. Zjawisko pokazuje się jeszcze raz, odkłada strzykawkę na stół i wyłącza kuchenkę.

Miała porcja alkoholu, posiadająca objętość mniejszą niż $0,1\text{ cm}^3$ i ogrzana do temperatury 100°C , przemienia się w parę (alkohol etylowy wrze w temperaturze 78°C). Uzyskana para (pod ciśnieniem atmosferycznym) zajmuje objętość ponad 10 cm^3 . Zatem

wzrost objętości alkoholu podczas parowania jest ponad stukrotny. Po sformułowaniu powyższego wniosku, przeprowadza się z uczniami rozumowanie przytoczone na początku opisu doświadczenia 1.

Modelowanie znacznego wzrostu objętości substancji podczas parowania można zrealizować w czasie następnej lekcji, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 4. Jeśli uczniowie nie zetknęli się wcześniej z „przyrządem do modelowania praw gazowych”, to przebieg eksperymentu modelującego powinien być następujący: powtarza się (w nieco zmienionej wersji) znane już uczniom i opisane powyżej doświadczenie z przemiany ciekłego alkoholu w parę i prawie jednocześnie modeluje to zjawisko.



Rys. 4

Na stole demonstracyjnym ustawia się kuchenkę elektryczną i włącza jej zasilanie. Na płycie kuchenki ustawia się kolbę z wodą, a do kolby wkładka strzykawkę z zamkniętą pod tłokiem porcją alkoholu. Następnie obok kuchenki należy ustawić (np. zgodnie z rys. 2) przyrząd do modelowania, do cylindra wsypać 25 - 30 kulek stalowych i leżącą na wibratorze warstwę tych kulek nakryć tłokiem. Tak przygotowany przyrząd łączy się ze źródłem prądu przemiennego o napięciu 6 V. Tłok przyrządu unosi się ku górze i oscyluje nieco poniżej górnej krawędzi cylindra. Po krótkiej obserwacji działającego przyrządu należy wyłączyć jego zasilanie i zwrócić uwagę na ustawione obok doświadczenie z parowaniem alkoholu, odczekać do chwili, gdy para alkoholu wypełni prawie całą objętość strzykawki, wyjąć strzykawkę z kolby, odczekać do momentu całkowitego opadnięcia tłoka, odłożyć strzykawkę i wyłączyć zasilanie kuchenki.

Obserwując te czynności, uczniowie dostrzegają analogię między doświadczeniem modelującym i doświadczeniem z substancją rzeczywistą (rys. 4). Trzeba tylko doprowadzić do sformułowania, na czym polega ta analogia: Warstwie alkoholu odpowiada warstwa kulek, nagrzaniu strzykawki – wprowadzenie w drgania wibratora zamykającego od dołu cylinder przyrządu do modelowania, parze alkoholu – kulki wprowadzone w ruch drgającym wibratorem, a naciskowi pary alkoholu na tłok strzykawki – nacisk spowodowany uderzeniami kulek w tłok przyrządu.

Podsumowując doświadczenie należy sformułować wniosek ogólny. Zespół kulek wprowadzonych w ruch i chaotycznie zderzających się ze sobą – to model gazu rzeczywistego. Jeśli ten model istotnie odpowiada rzeczywistości, rozstrzygnięte zostało pytanie o przyczynę znacznego wzrostu objętości podczas parowania. Pojawiła się więc potrzeba zweryfikowania modelu gazu, wprowadzonego w opisany powyżej sposób. W tym celu porcję gazu

rzeczywistego (powietrza lub gazu barwnego) należy poddać działaniu zmiennych warunków zewnętrznych. Podobnym działaniom powinien podlegać model gazu.

5.2. Weryfikacja modelu gazu. Jakościowe modelowanie praw gazowych.

Model gazu, realizowany za pomocą „przyrządu do modelowania praw gazowych”, daje wstępne pojęcie o strukturze gazów rzeczywistych. Prawidłowo oddaje istotę gazu: nieustanny, chaotyczny ruch molekuł.

W modelu zachowany jest właściwy stosunek średniej odległości międzymolekularnej do rozmiaru molekuł. Rozmiary molekuł powiększone są w modelu około 10 milionów razy, a prędkość kulek modelujących molekuły – pomniejszone kilkaset razy. W rezultacie model obrazuje zwolniony (kilka miliardów razy) ruch molekuł gazu. Celem dalszych doświadczeń jest przekonanie uczniów o poprawności modelu przez:

- doświadczalne wykazanie, że model gazu posiada podobne właściwości, jak gaz rzeczywisty;
- pośrednie przekonanie się (obserwacja ruchów Browna) o istnieniu niewidocznego ruchu molekuł w gazie rzeczywistym.

Doświadczenie 2. Sprężanie gazu. Nacisk gazu na ścianki zbiornika. Zmniejszanie objętości zbiornika zawierającego gaz, prowadzi do wzrostu nacisku gazu na jego ściany. Podobny efekt występuje przy zmniejszaniu objętości gazu rzeczywistego. Obserwacja modelu gazu prowadzi ponadto do wyjaśnienia, dlaczego gaz rzeczywisty naciska na ściany zbiornika. Opisane poniżej doświadczenie jest dwuczęściowe. Spręża się gaz rzeczywisty i modeluje to zjawisko za pomocą „przyrządu do modelowania praw gazowych”.

Najpierw przygotowuje się do demonstracji (np. zgodnie z rys. 2) przyrząd do modelowania: w cylindrze umieszcza się 30 kulek stalowych a przyrząd łączy się z wyjściem zasilacza prądu przemiennego o napięciu 6 V (zasilacz wyłączony). Obok przyrządu do modelowania układa się akcesoria do badania gazu rzeczywistego:

1. strzykawkę lekarską metalowo szklaną – 5 ml,
2. okrągłą podstawę do statywu,
3. odważnik 1 kg,
4. kawałek plasteliny.

Przygotowując doświadczenie należy do cylindra strzykawki przywiązać jej tłok kolorową nitką, a z gumki wyciąć kostkę sześcienną o krawędzi około 1 cm. Na krótko przed pokazem nagrzewa się kuchenkę elektryczną i doprowadza do wrzenia wodę w kolbie ustawionej bezpośrednio na płycie kuchenki. Pokaz rozpoczyna się od ustawienia na stole demonstracyjnym kuchenki z kolbą i wrzącą wodą (ostrożnie!). Zwraca się uwagę uczniów na wrzącą wodę. Para uchodzi do atmosfery nie wiadomo, jak dużo jej powstaje. Chcąc ustalić objętość powstającej pary wygodniej jest przekształcić w parę nie ciekłą wodę, lecz alkohol etylowy, ze względu na niższą temperaturę wrzenia.

W dalszym ciągu pokazu ze strzykawki wyjmuje się tłok, pochyla ją i wkrapla do niej dwie lub trzy krople alkoholu, wsuwa tłok prawie do dna cylindra i wciska końcówkę strzykawki (w celu jej zamknięcia) w przygotowaną kostkę gumową.

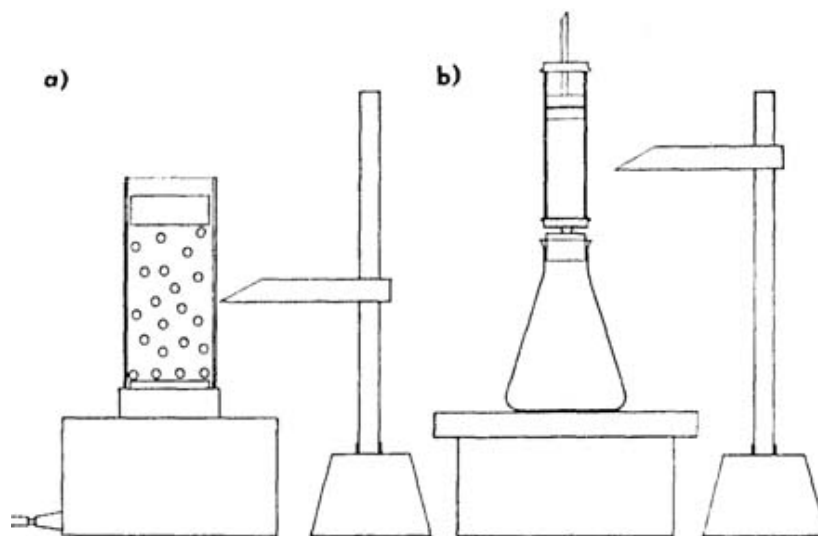
Uwaga! Trzeba pamiętać, że nacisk zamkniętego w strzykawce gazu na tłok strzykawki równoważy nie tylko ciężar tłoka, ale również - nacisk atmosfery ziemskiej na tłok. Przy malejącym nacisku tłoka gaz rzeczywisty rozpręża się coraz bardziej (model gazu zachowuje się podobnie). Nieograniczona rozprężność, a więc brak określonej objętości, jest charakterystyczną cechą gazu. Cecha ta w sposób istotny odróżnia stan gazowy od pozostałych stanów skupienia substancji.

Doświadczenie 3. Ogrzewanie gazu. Przyrost objętości lub ciśnienia. Wzrost amplitudy drgań wibratora w przyrządzie do modelowania powoduje, że kulki stalowe poruszają się z większymi prędkościami. W konsekwencji wzrasta nacisk gazu "modelującego" na tłok i ścianki cylindra. Podobny efekt powinien wystąpić w czasie

ogrzewania gazu rzeczywistego. Doświadczenie potwierdza ten wniosek. Schemat doświadczenia (w końcowej jego fazie) przedstawia rys. 5. Przed pokazem trzeba przygotować:

1. przyrząd do modelowania praw gazowych
2. transformator z odczepami 3 V i 6 V,
3. dwa przewody elektryczne laboratoryjne,
4. małe kawałki plasteliny do obciążenia tłoka,
5. kuchenkę elektryczną,
6. kolbę szklaną stożkowa żaroodporna, 100 ml lub 200 ml.
7. korek gumowy do kolby,
8. strzykawkę lekarską metalowo-szklaną 20 ml,
9. dwa wskaźniki poziomu.

Przed pokazem w korku należy wywiercić (np. wiertłem do metalu) otwór przelotowy dopasowany do końcówki strzykawki, kolbę zamknąć tym korkiem, dolną powierzchnię tłoka strzykawki ustawić w odległości około 4 cm od jej dna i wreszcie, końcówkę strzykawki wcisnąć w otwór w korku. Trzeba też przygotować uchwyt do blokowania ruchu tłoka strzykawki. Tak przygotowaną kolbę ze strzykawką, kuchenkę elektryczną i wskaźnik poziomu – ustawia się za stołem demonstracyjnym, kuchenka nagrzewa się przed pokazem.



Rys. 5

W czasie pokazu na stole demonstracyjnym ustawia się przyrząd do modelowania. Do cylindra przyrządu wsypuje się około 25 kulek stalowych, cylinder zamyka tłokiem, łączy przyrząd z zaciskami 3 V zasilacza, zaznacza wskaźnikiem poziomu położenie dolnej płaszczyzny uniesionego tłoka. Podwyższenie napięcia zasilania do 6 V powoduje, iż tłok przyrządu przesuwają się wyżej ponad zaznaczony poziom (rys. 5a).

Teraz proponuje się uczniom, aby zaprojektowali podobne doświadczenie z gazem rzeczywistym (powietrzem). Powinni łatwo zauważyć, że gaz należy zamknąć w naczyniu z tłokiem i ogrzać.

W dalszym ciągu pokazu, obok przyrządu do modelowania, ustawia się (rys. 5b) kuchenkę elektryczną, włącza jej zasilanie, pokazuje konstrukcję kolby połączonej ze strzykawką, zapamiętuje położenie tłoka i ustawia kolbę ze strzykawką na rozgrzanej płycie kuchenki. Gaz nagrzany w kolbie wypycha tłok strzykawki. Wskaźnikiem poziomu zaznacza się wyjściowe położenie dolnej ścianki tłoka, ponownie włącza przyrząd do modelowania i przez chwile uczniowie obserwują sytuację przedstawioną na rys. 5.

Ogrzanie gazu przy stałym nacisku na tłok zamykający zbiornik prowadzi do wzrostu pojemności zbiornika (ruchomy tłok). Można nie dopuścić do wzrostu pojemności zbiornika

przez zablokowanie ruchu tłoka. Wtedy ogrzanie gazu prowadzi do wzrostu nacisku gazu na ściany zbiornika.

W celu zademonstrowania ostatniego wniosku, tłok przyrządu do modelowania działającego przy napięciu 6 V, obciąża się kulkami plasteliny tak długo aż wróci do położenia wyjściowego, zaznaczonego wskaźnikiem poziomym. Podobnie wysunięty tłok strzykawki wciska się dłonią i blokuje, za pomocą przygotowanego wcześniej uchwytu, w położeniu wyjściowym, zaznaczonym wskaźnikiem poziomym.

Wzrost temperatury gazu rzeczywistego odpowiada zwiększeniu prędkości kulek stalowych, modelujących molekuly. Nieustanny, chaotyczny ruch molekuł gazu nazywa się więc ruchem cieplnym lub ruchem termicznym, można powiedzieć również, że jest to ruch temperaturowy molekuł.

Uwaga! Doświadczenie 3 można wykorzystać (zamiast doświadczenia 1) do zapoznania uczniów z „przyrządem do modelowania praw gazowych”. Wtedy kolejność pokazów powinna być zmieniona. Najpierw wykonuje się doświadczenie z ogrzewaniem gazu rzeczywistego, a następnie doświadczenie modelujące.

Doświadczenie 4. Pośrednia obserwacja ruchu molekuł gazu. Ruchy Browna – Bodaszewskiego. Uczniowie oglądają model gazu z tak dużej odległości, aby kulki stalowe modelujące molekuly gazu, były słabo widoczne. Wprowadzenie do tego modelu gazu widocznej z daleka, dużej, barwnej kulki pozwala sądzić zarówno o istnieniu, jak i o ruchu słabo widocznych „molekuł”. Pyłki dymu tytoniowego, unoszące się w powietrzu, wykonują szybkie i chaotyczne ruchy. Mikroskopowa obserwacja tego zjawiska pozwala odczuć niewidoczny ruch temperaturowy molekuł powietrza. Ruch cząstek zawiesiny w spokojnym powietrzu odkrył i zbadał fizyk Łukasz Bodaszewski w roku 1881 we Lwowie. Podobne ruchy cząstek zawiesiny w cieczy odkrył wcześniej (w roku 1827) botanik Robert Brown. Przed lekcją należy przygotować następujące przyrządy i materiały:

1. przyrząd do modelowania praw gazowych,
2. transformator z wyjściem o napięciu 6 V,
3. dwa przewody elektryczne laboratoryjne,
4. lampę stołową,
5. ekran,
6. mikroskop szkolny z obiektywem 10 X i okularem 10 X,
7. samodzielnie wykonany przyrząd do mikroskopowej obserwacji dymu,
8. papieros i zapalki.

Doświadczenie przebiega następująco:

Przyrząd do modelowania ustawia się do demonstracji zgodnie z rys. 2, w jego cylindrze umieszcza się około 30 kulek stalowych. Uczniowie w grupach oglądają z bliska działający przyrząd i zwracają uwagę na dobrą widoczność kulek stalowych, modelujących molekuly gazu. Następnie ustawiają się w odległości ponad 4 m od przyrządu, powtarzają obserwacje i zauważają, że molekuly stały się bardzo słabo widoczne, lecz dobrze widać nieregularne ruchy tłoka wokół położenia równowagi. Po wyłączeniu zasilania przyrządu, do kulek stalowych wrzuca się kolorowa i większą od nich kulkę polistyrenową. W czasie dalszej obserwacji działającego przyrządu uczniowie dostrzegają wyraźnie szybki i chaotyczny ruch kolorowej kulki i wolniejszy ruch tłoka.

Sugeruje się uczniom, aby próbowali zaprojektować podobne doświadczenie z gazem rzeczywistym. Gaz należy umieścić w zbiorniku, a w nim powinna znaleźć się dobrze widoczna cząstka. Mała cząstka nie będzie widoczna, duża opadnie na dno zbiornika. Pyłek może unosić się w gazie, ale im mniejszy tym lepiej, bo jego prędkość będzie bardziej zbliżona do prędkości molekuł. Pyłek widoczny pod mikroskopem może znajdować się w bezładnym ruchu, spowodowanym uderzeniami molekuł.

Teraz uczniowie oglądają pod mikroskopem ruchy Browna – Bodaszewskiego cząstek dymu tytoniowego, unoszących się w powietrzu. Obserwację trzeba prowadzić w częściowo

zaciemnionej sali lekcyjnej, przy silnym oświetleniu bocznym dymu. Na ciemnym tle widać jasne punkty – światło rozproszone na bardzo małych cząstkach dymu, niedostrzegalnych przy zastosowanym, około 100-krotnym, powiększeniu mikroskopu (zasada ultramikroskopu). Zbiornik na dym i układ oświetlający trzeba przygotować samodzielnie. Jako zbiornik może służyć kawałek przezroczystej rurki szklanej, lub plastikowej o średnicy wewnętrznej około 5 mm i długości około 1 cm, zamkniętej z obu końców. Najprostszym urządzeniem oświetlającym jest żarówka do latarki elektrycznej z pogrubieniem szczytowej części bańki, skupiającym światło emitowane przez włókno żarówki. Do oświetlenia dymu najlepiej nadaje się taka żarówka która na ekranie ustawionym w odległości kilku centymetrów daje jak najmniejszą i najbardziej jednorodną plamę światła. Montując rurkę i żarówkę na prostokątnej płytce o wymiarach zbliżonych do wymiarów mikroskopowego szkiełka podstawowego, uzyskuje się prosty samodzielnie wykonany przyrząd do obserwacji mikroskopowej dymu tytoniowego. Rurkę przykleja się do płytki za pomocą ciemnej plasteliny i przykrywa mikroskopowym szkiełkiem nakrywkowym lub szybką z ramki do przezroczycy. Do uzyskanego w ten sposób szczelnego zbiornika wdmuchuje się (po uniesieniu szkiełka) dym z papierosa). Wiązka światła w dymie powinna przebiegać w odległości około 3 mm od szkiełka nakrywkowego. Obiektyw mikroskopu ustawia się w odległości około 1 mm od szkiełka nakrywkowego i przesuwają ku górze dla uzyskania najlepszej widoczności i ostrości obrazu.

5.3. Uogólnienie hipotezy o ruchu temperaturowym molekuł. Propozycje innych doświadczeń modelujących.

Po obserwacji ruchów Browna – Bodaszewskiego w gazie należy uogólnić hipotezę o ruchu temperaturowym molekuł, zapoznając uczniów z ruchami Browna w cieczy i zjawiskiem dyfuzji cieczy w cieczy.

Ostatnie zjawisko można modelować za pomocą „przyrządu do modelowania praw gazowych”, nasypując na dno cylindra warstwę np. kolorowych cukierków (groszek), a na wierzch warstwy cukierków – drugą warstwę np. okrągłego grochu. Dobierając odpowiednio natężenie prądu, pobudza się do drgań obydwie warstwy i modeluje w ten sposób, w ciągu kilku minut, długotrwałe zjawisko dyfuzji cieczy w cieczy.

Przyrząd nadaje się również do modelowania budowy atmosfery ziemskiej. W cylindrze otwartym u góry (lub zatkanym korkiem z pianki poliuretanowej) umieszcza się około 45 kulek stalowych i dobiera natężenie prądu (napięcie około 3 V) tak, by kulki uniosły się, lecz nie wylatywały z cylindra.

Źródło: ze zbiorów Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego